BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt







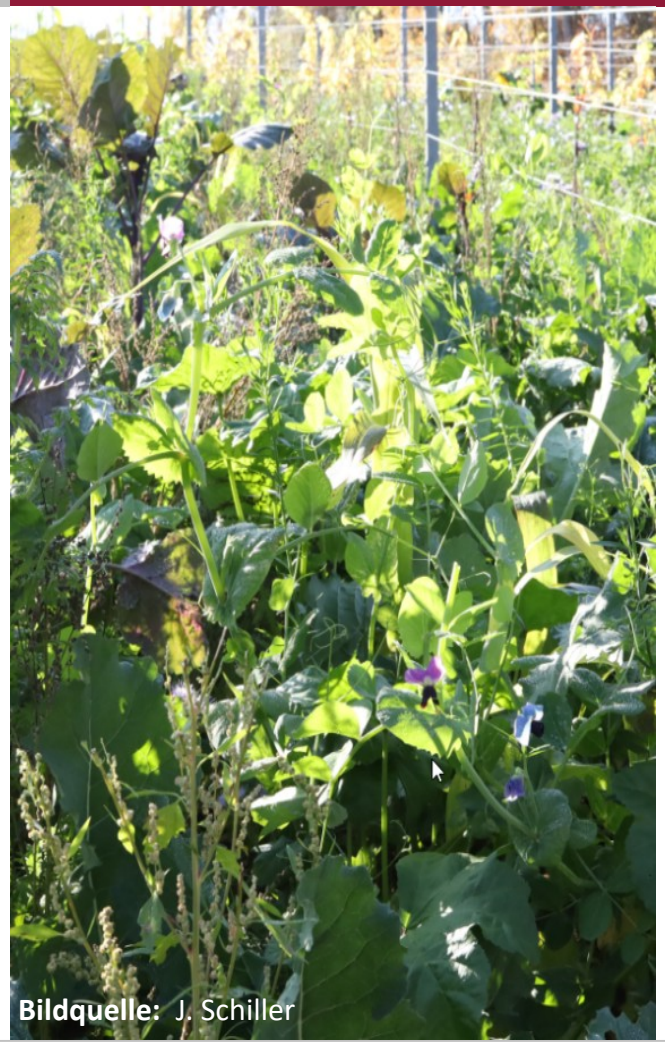
RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM
LÄNDLICHER RAUM
RHEINPFALZ

WASSER
SCHUTZ
BERATUNG

Dr. Claudia Huth

06321-671 228
claudia.huth@dlr.rlp.de

ZUR PERSON


Bildquelle: J. Schiller

Dr. Claudia Huth
DLR Rheinpfalz
Institut für Weinbau & Oenologie (Gruppe Weinbau)
Breitenweg 71,
67435 Neustadt an der Weinstraße
Tel.: 06321-671 228
Email: claudia.huth@dlr.rlp.de

- **Leitung der Wasserschutzberatung RLP landesweit für alle Kulturen**
- **Leitung des Fachgebietes „Bodenpflege, Rebenernährung & Wasserschutz“**
- Landesweite Koordination für Bodenpflege & Düngerecht im Weinbau
- Beratung in Wasserschutz, Rebenernährung und Bodenpflege
- Berufs- und Fachschulunterricht/Vorlesung im Dualen Studiengang
- Praxisbegleitendes Versuchswesen in Kooperationsbetrieben

ZUM NACHLESEN - zusätzlich zum Vortrag erhalten Sie:


16 WEINBAU

In der Wurzel steckt die Kraft

Funktion der Wurzeln im Weinberg

Welche Funktion haben die Wurzeln als Wasser- und Nährstoffgeber für die Reben und auch für die Gassenbegrünung? Und wie wirken sie auf die Prozesse im Boden? Das zeigt Dr. Claudia Huth vom Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz.

Wurzeln beeinflussen verschiedenste Prozesse im Boden – hier ist eine Bokhara-Kleewurzel mit Wurzelknöllchen zu sehen.

Die Aussage „In der Wurzel liegt die Kraft" kann auf die Reben und alle Formen der Gassenbegrünungen (etwa Herbst-/Winterbegrünungen, Dauerbegrünungen), Unterstock- und Brachebegrünung übertragen werden. Während die oberirdische Pflanzenbiomasse sichtbar wächst, Fotosynthese betreibt und für die Biodiversität als Nahrungs- und Raumressource unersetzbar ist, wirken die Wurzeln als Wasser- und Nährstoffspeicher Lebensraum und Strukturgeber direkt auf die Prozesse im Boden ein, die über Gesundheit und Leistungsfähigkeit des gesamten Systems entscheiden (Grafik 1).

Wurzeln bilden Grob- und Makroporen

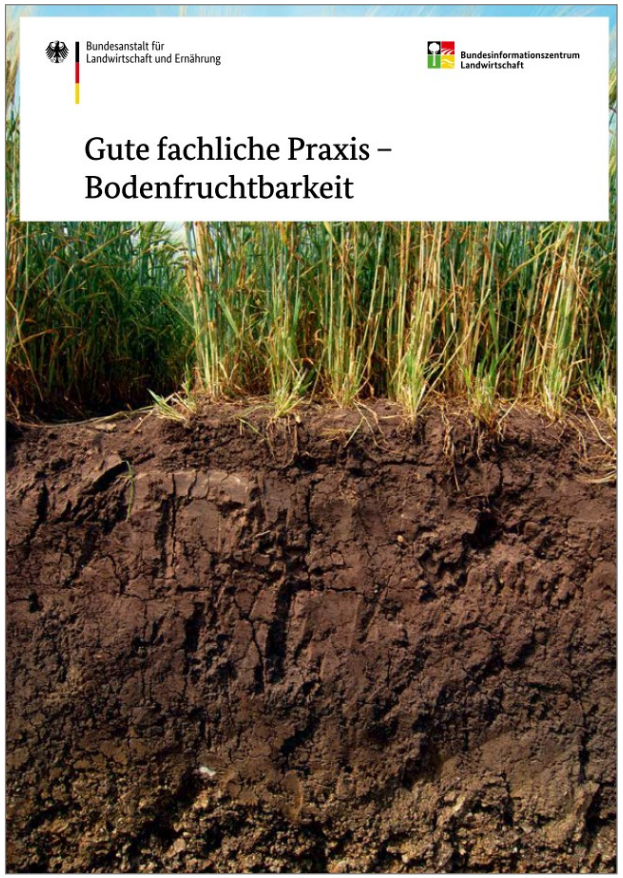
Wurzelwachstum schafft im Boden ein Netz aus Grob- und Makroporen, weil die Wurzeln beim Eindringen in vorhandene Hohlräume Bodenaggregate mechanisch auseinander drücken, Feinrisse erweitern und nach dem Absterben selbst als stabile Hohlräume im Boden verbleiben. Wurzeln werden auch als Bioporen bezeichnet, weil sie nach dem Absterben oder durch ihr Wachstum vertikale Hohlräume im Boden hinterlassen, die als biologische Porenkanäle wirken. Infolgedessen leistet jedes Wurzelsystem, egal welchen Typs oder welcher horizontalen und vertikalen Ausbildung, einen enormen Beitrag zur Erhöhung der ganzjährigen Niederschlagsinfiltration (Grafik 2). Aus diesem Grund ist eine artenreiche Teilzeit-, Dauer-, Unterstock- und Brachebegrünung mit flachen, mitteltiefen und tiefen Wurzelsystemen besonders wirksam. Durch die wurzelspezifischen Bioporen werden die Winterniederschläge in den Unterboden geleitet und dienen so als Wasserreserven für die von Hitze und Dürre geprägte Vegetationsphase. Zudem fördern begrünte Böden die Regenwurmaktivität und damit die Bildung von weiteren Bioporen, weil dort meist mehr Nahrung, Feuchtigkeit und Schutz vorhanden sind. Pflanzenrückstände, Wurzeln und organische Substanz liefern den Würmern kontinuierlich verwertbares Material und die Pflanzendecke schützt sie vor Austrocknung und starker Sonneneinstrahlung sowie vor Frost.

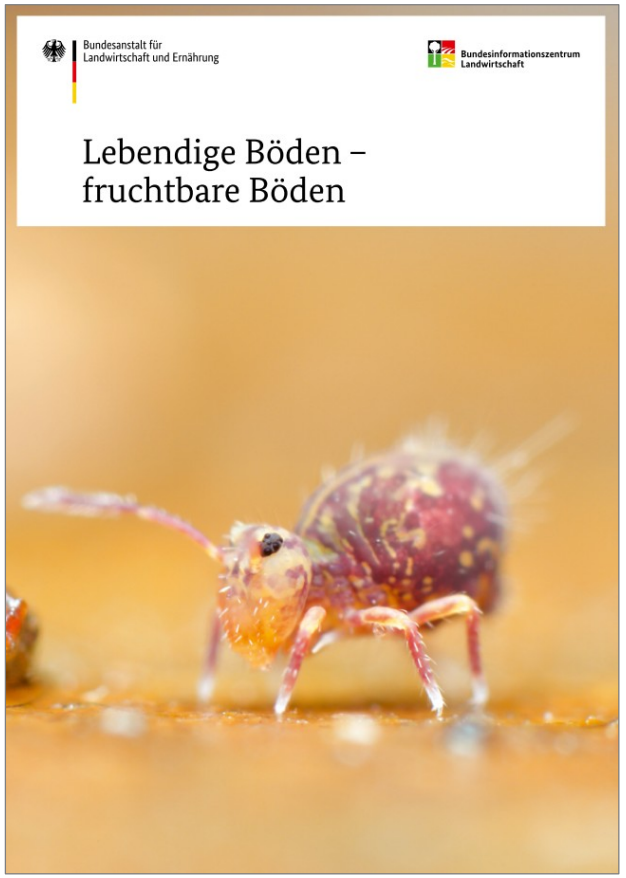
Wurzeln erhalten die Bodenkrümelstruktur

Ein wesentlicher Beitrag der Wurzeln liegt in der Förderung eines stabilen Krümelgefüges. Durch ihr Wachstum dringen Wurzeln in den Boden ein, durchziehen ihn mechanisch und wirken damit als natürliche Strukturbildner. Sie verfestigen die Bodenmatrix nicht nur unmittelbar durch ihr Wurzelgeflecht, sondern auch indirekt über ihre Exsudate und Rhizodeposition, also die Abgabe organischer und anorganischer Stoffe. Diese organischen Ausscheidungen dienen Mikroorganismen als Energiequelle und fördern die Bildung schleimiger Bindemittel sowie von Stoffen, die Bodenpartikel aneinander haften lassen. Dadurch entstehende stabile Bodenaggregate verlangsamen zudem den Oberflächenabfluss und reduzieren damit Erosion und Nährstoffverluste. Ein gut entwickeltes Krümelgefüge schafft außerdem ein differenziertes Porensystem mit Fein- und Grobporen, das sowohl den Wassertransport als auch den Gasaustausch begünstigt. So bleibt der Boden auch unter wechselnden Niederschlagsbedingungen besser durchlüftet und wasseraufnahmefähig. Zusätzlich

Überblick zu den Wurzelfunktionen von Pflanzen. Grafik: Claudia Huth/Foto: Martin Ledach

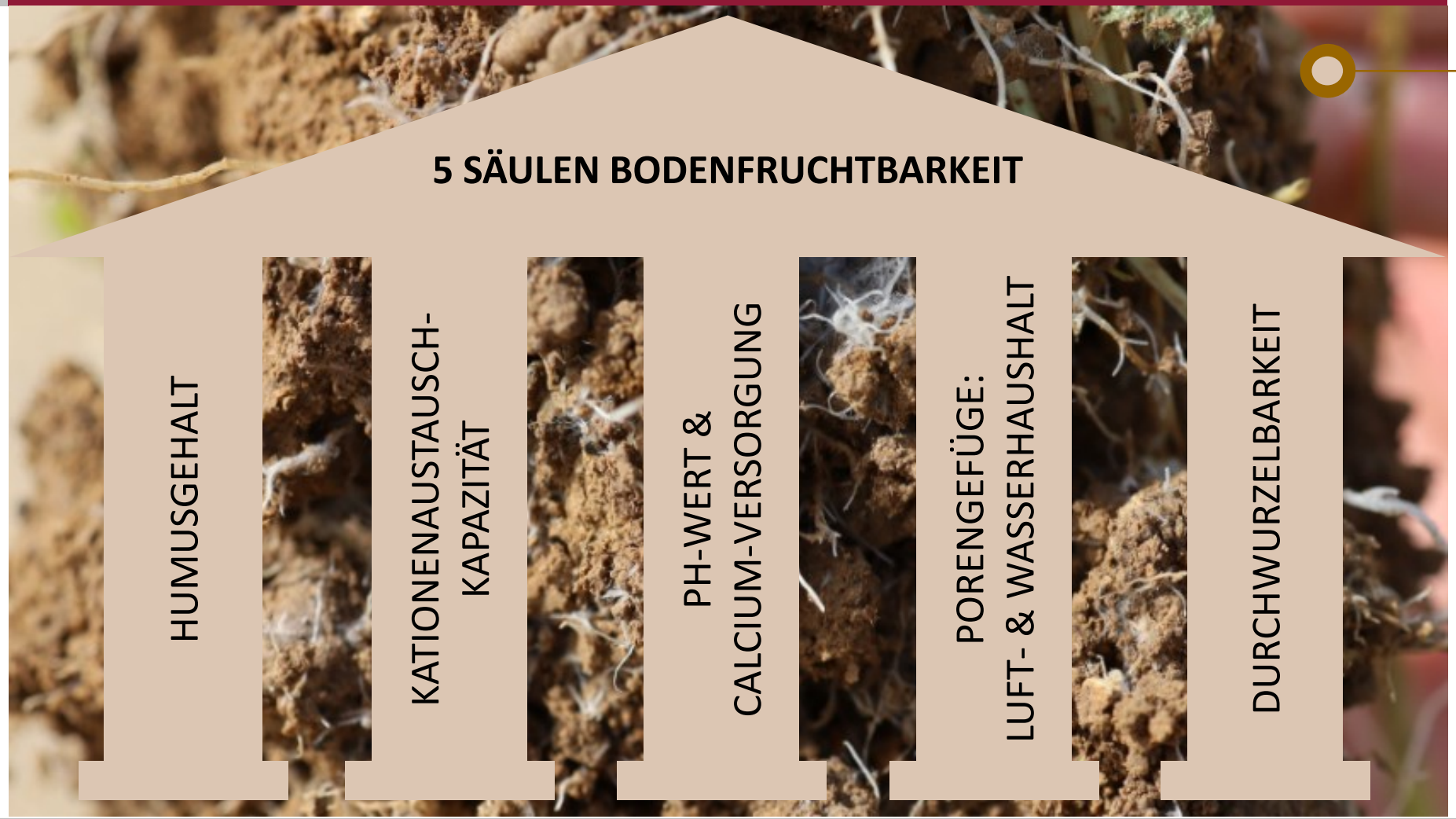






BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt



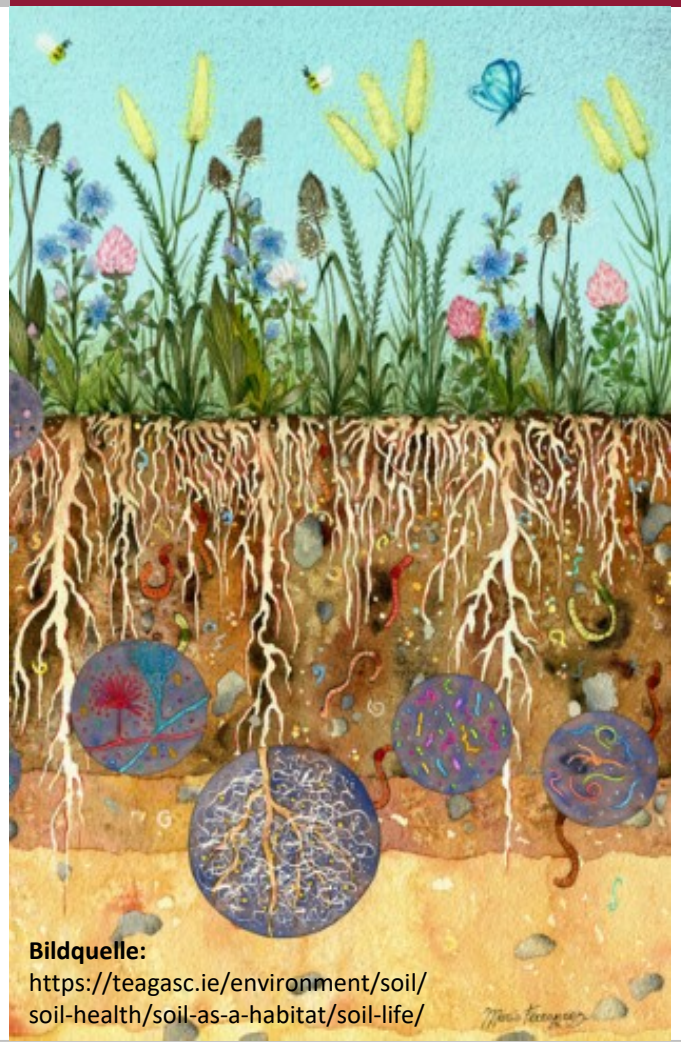
Bodenfruchtbarkeit

…ist die Fähigkeit eines Bodens, Pflanzen nachhaltig mit Wasser, Luft und Nährstoffen zu versorgen, woraus gesundes Wachstum und Ertragssicherung resultieren.

Bildquelle:
C. Huth
M. Ladach

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt



Bildquelle:
https://teagasc.ie/environment/soil/soil-health/soil-as-a-habitat/soil-life/

STOFFGRUPPEN PFLANZLICHE & TIERISCHE BIOMASSE

LIPIDE
Fettsäuren, Fette, Wachse

KOHLENHYDRATE
Glucose, Fructose, Cellulose*

PROTEINE
Aminosäuren

PIGMENTE
Chlorophyll*, Carotinoide*, Melanin

LIGNIN (HOLZ)*

* Stoffgruppen,
die nur in pflanzlicher Biomasse vorkommen.

Mineralisation
- Bereitstellung Makronährstoffe: (N, P, K, Mg, Ca, S, Na)
- Bereitstellung Mikronährstoffe: (Fe, B, Mn, Si, Mo, Zn, Cu, Ni, Cl)

Humuserhalt & Humusaufbau
- Zunahme Wasserverfügbarkeit
- Zunahme Nährstoffverfügbarkeit
- Abnahme Bodenschädigungen

Porengefüge verbessert
Luft- und Wasserhaushalt
- Optimierung der Lebens-bedingungen Bodenorganismen
- Abnahme Bodenschädigungen

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

Nährstoffgehaltsklassen von Weinbergsböden Quelle: FDW-Arbeitskreis Bodenkunde & Pflanzenernährung Weinbau 2018

		Gehaltsklasse (Versorgungsstufe)				
Nährstoff	**Bodenart**	**A** Mangel	**B** leichter Mangel	**C** anzustreben	**D** Überversorgung	**E** starke Überversorgung
P_2O_5 [mg/100 g Boden]	alle	< 12	entfällt DüV 2017	12 - 20	entfällt DüV 2017	> 20
K_2O [mg/100 g Boden]	leicht [S, l'S]	< 5	5 - 9	10 - 20	21 - 30	> 30
	mittelschwer [IS, sU, sL, uL, lU]	< 8	8 - 14	15 - 25	26 - 38	> 38
	schwer [t'L, tL, lT, T]	< 10	10 - 19	20 - 30	31 - 45	> 45
Mg [mg/100 g Boden]	alle	< 5	5 - 9	10 - 15	16 - 22	> 22
Bor [mg/kg Boden]	alle	< 0,35	0,35 - 0,69	0,70 - 0,90	0,91 - 1,35	> 1,35
Humus-Gehalt [%]	leicht [S, l'S]	< 1,0	1,0 - 1,4	1,5 - 1,9	2,0 - 2,5	> 2,5
	mittelschwer [IS, sU, sL, uL, lU]	< 1,2	1,2 - 1,7	1,8 - 2,4	2,5 - 3,0	> 3,0
	schwer [t'L, tL, lT, T]	< 1,5	1,5 - 1,9	2,0 - 2,9	3,0 - 3,5	> 3,5
Boden-pH-Wert	leicht [S, l'S]	< 4,6	4,6 - 5,3	5,4 - 6,3	> 6,3	
	mittelschwer [IS, sU, sL, uL, lU]	< 5,1	5,1 - 6,0	6,1 - 7,0	> 7,0	
	schwer [t'L, tL, lT, T]	< 5,4	5,4 - 6,3	6,4 - 7,2	> 7,2	

Humuserhalt

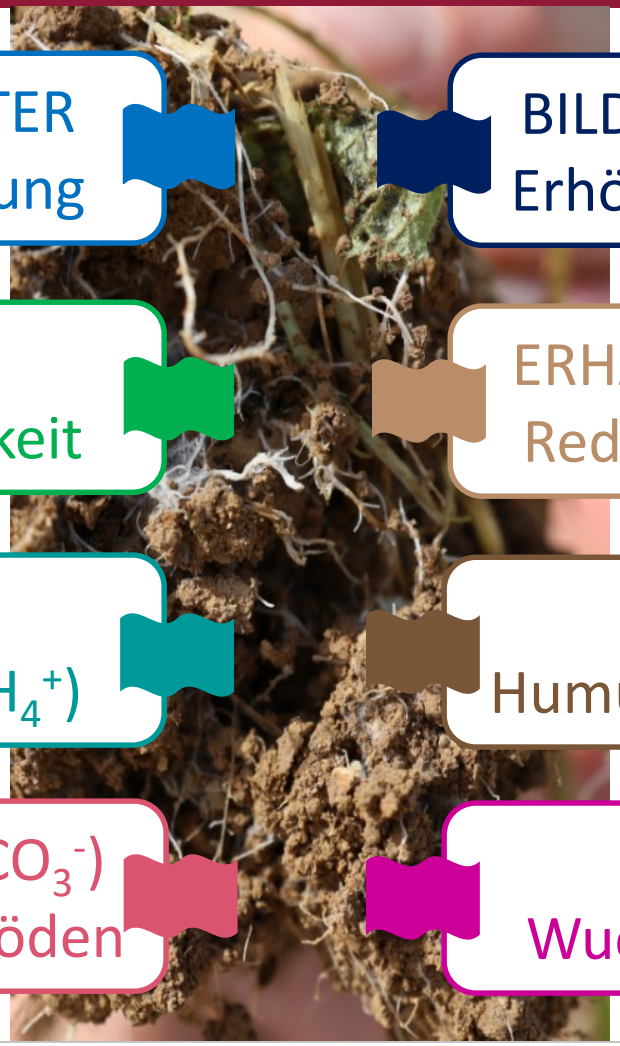
…bedeutet,
den Gehalt an Humus im Boden langfristig zu sichern, sodass er nicht durch Verdichtung, Erosion, Staunässe, Verschlämmung, Bodenerhitzung oder intensive Bewirtschaftung sinkt.

Ziel ist:
ein standortgerechter Humusgehalt, Wasserspeicherung, Nährstoffversorgung und Bodenleben erhält.

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

Bildquelle: M. Ladach



NÄHRSTOFFAUFNAHME WINTER
Reduzierung Nitrat-Auswaschung

BILDUNG GROB- & MAKROPOREN
Erhöhung Niederschlagsinfiltration

SYMBIOSE MYKORRHIZA
Erhöhung Nährstoffverfügbarkeit

ERHALT BODENKRÜMELSTRUKTUR
Reduzierung Erosion, Verdichtung

SYMBIOSE RHIZOBIEN
Erhöhung N-Verfügbarkeit (NH_4^+)

WURZELEXSUDATE
Humusaufbau (neue Humustheorie)

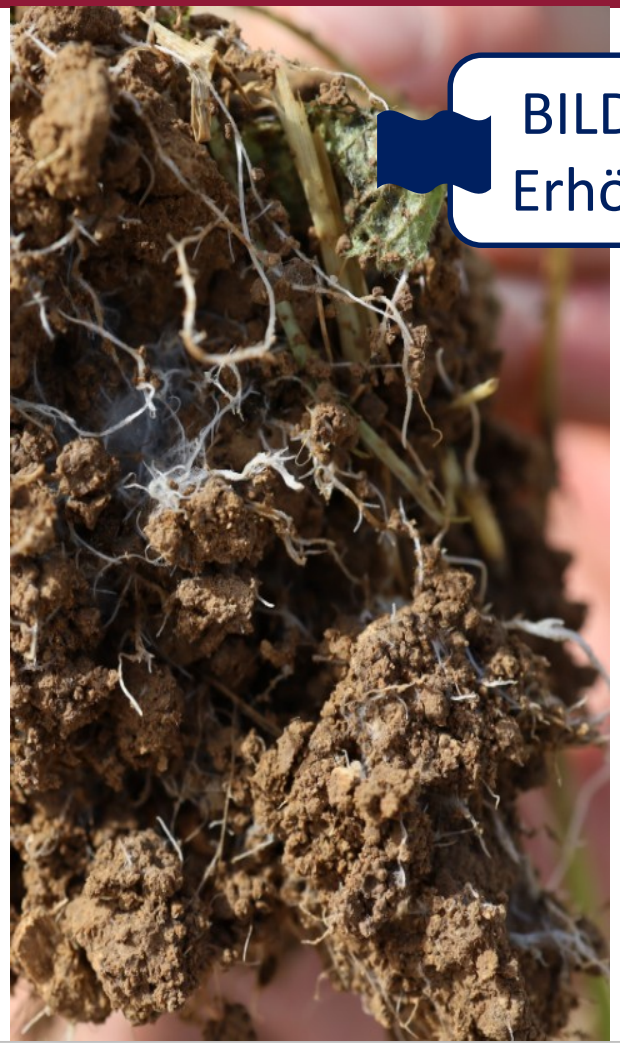
BODEN-VERSAUERUNG (H^+, HCO_3^-)
pH-Wert-Regulation basische Böden

RHIZOPHAGIE-ZYKLUS
Wuchsförderung durch Mikroben

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

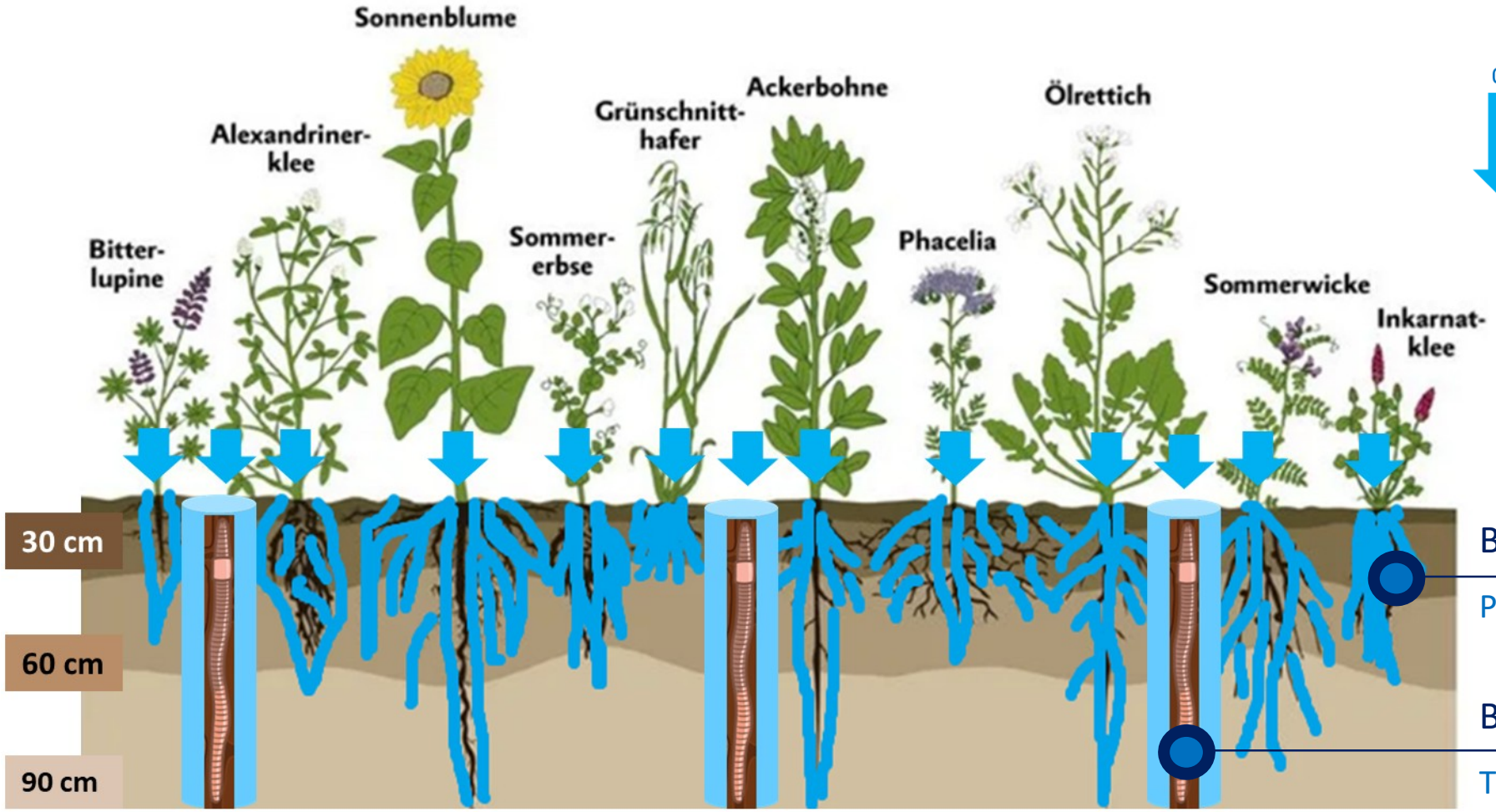
Bildquelle: M. Ladach

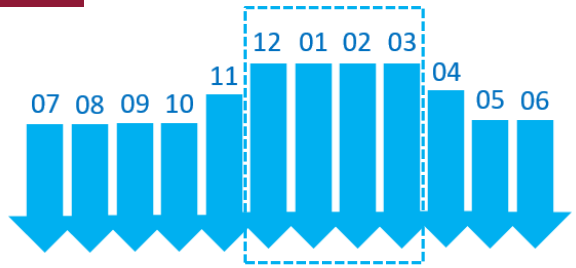


BILDUNG GROB- & MAKROPOREN
Erhöhung Niederschlagsinfiltration

BILDUNG GROB- & MAKROPOREN
Erhöhung Niederschlagsinfiltration

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM
LÄNDLICHER RAUM
RHEINPFALZ





Sickerwasserperiode RLP
„Jetzt die Wasservorräte für den Sommer anlegen!“

Biopore Wurzelkanal

Porenraum um die Wurzel

Biopore Regenwurmgang

Tiefgräber: *Lumbricus terrestris*

Bildquelle: https://www.diegruene.ch/fileadmin/user_upload/diegruene/artikel-bilder/2024-04/DG09-Grafiken1.jpg

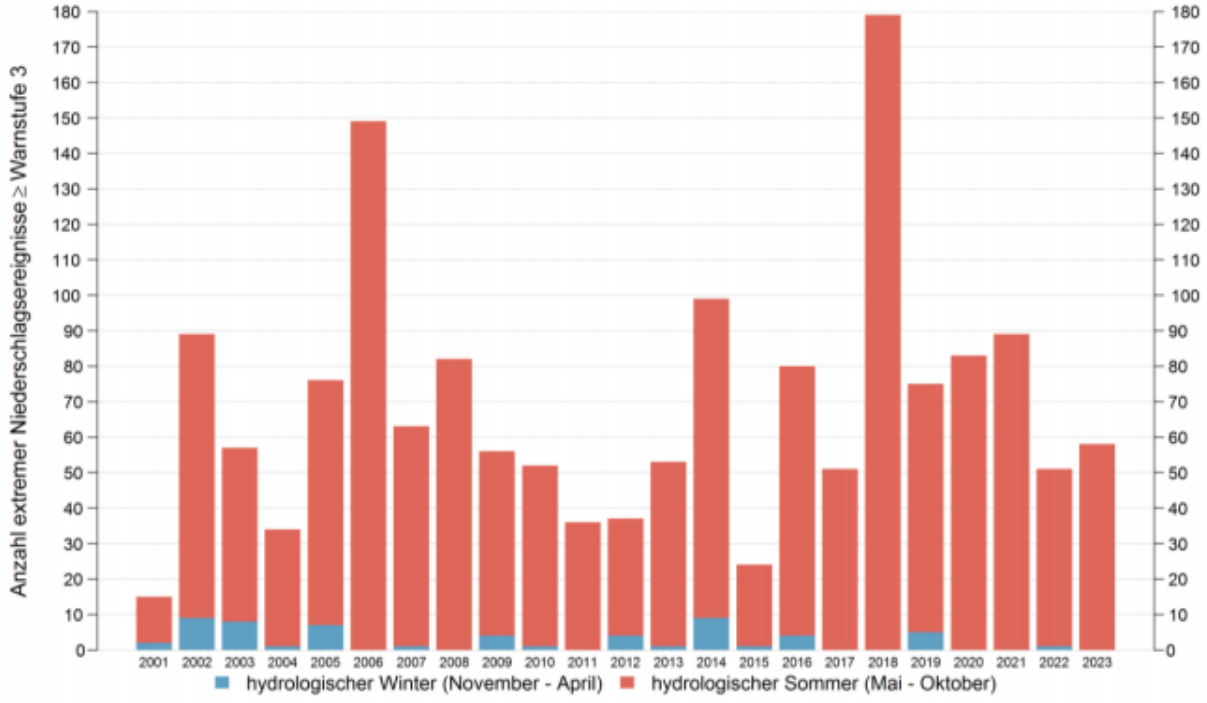
BILDUNG GROB- & MAKROPOREN
Erhöhung Niederschlagsinfiltration

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM RHEINPFALZ



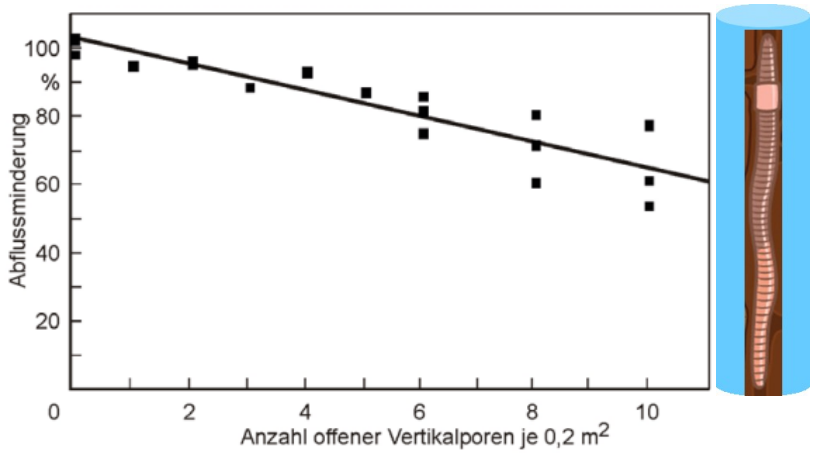
Wasserrückhalt in Fläche fördern, da Starkregenereignisse zunehmen!

Entwicklung der Häufigkeit extremer Niederschlagsereignisse (ab Warnstufe 3: 25 bis 40 l/m² in 1 h, 35 bis 60 l/m² in 6 Stunden) seit 2001 für Rheinland-Pfalz:



Quelle: Zukunftsplan Wasser RLP 2024 (Datenquelle: DWD; Darstellung: RLP-KfK)

Reduktion des Oberflächenabflusses von Wasser durch die Anzahl an Regenwurmgängen in einem Ackerboden (Roth & Joschko 1991).



Quelle: BLE_Lebendige_Böden_1020_2259_web.pdf

BILDUNG GROB- & MAKROPOREN
Erhöhung Niederschlagsinfiltration

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM RHEINPFALZ



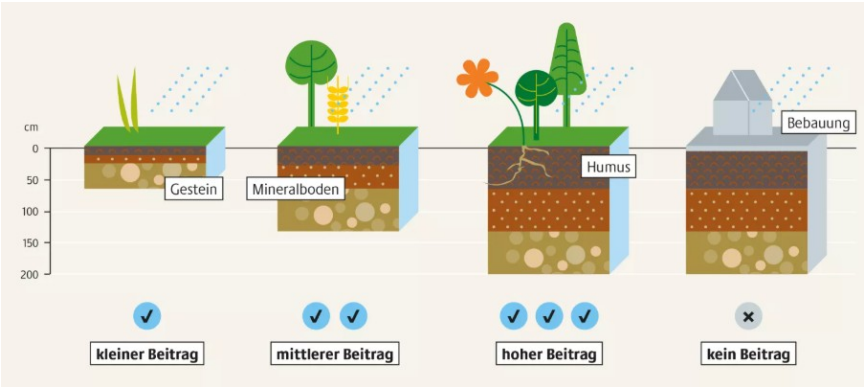
In RLP werden 97 % des Trinkwassers aus Grundwasser gefördert!

RLP (KLIWA-Naturräume): Rückgang der mittleren Grundwasserneubildung im Zeitraum 2003 bis 2022 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000:

KLIWA-Naturraum	Referenz-zeitraum 1971–2000 [mm/a]	Beobachtungs-zeitraum 2003–2022 [mm/a]	Veränderung [mm/a]	Veränderung [%]
Nördlicher Oberrheingraben	69	41	-28	-41
Mainzer Becken und Wetterau	32	19	-13	-40
Pfälzerwald (Buntsandstein)	161	115	-46	-28
Nordpfälzer Bergland (Rotliegend)	81	66	-16	-19
Rheinisches Schiefergebirge	83	63	-19	-23
Südwesteifel (Buntsandstein)	202	163	-40	-20
Nordwesteifel (devon. Kalksteine)	203	156	-48	-23
Pellenz (Vulkanite)	130	104	-26	-20
Lahn-Dill-Gebiet	150	98	-52	-35
Vulkanischer Westerwald	144	118	-26	-18
Rheinland-Pfalz	**101**	**76**	**-25**	**-25**

Quelle: Zukunftsplan Wasser RLP 2024

Die Grundwasserneubildung ist unter landwirtschaftlichen Flächen & Wäldern mit hohem Humusgehalt am höchsten!



Quelle: https://www.boell.de/de/2024/01/09/klimaanpassung-gesunde-boeden-benoetigt

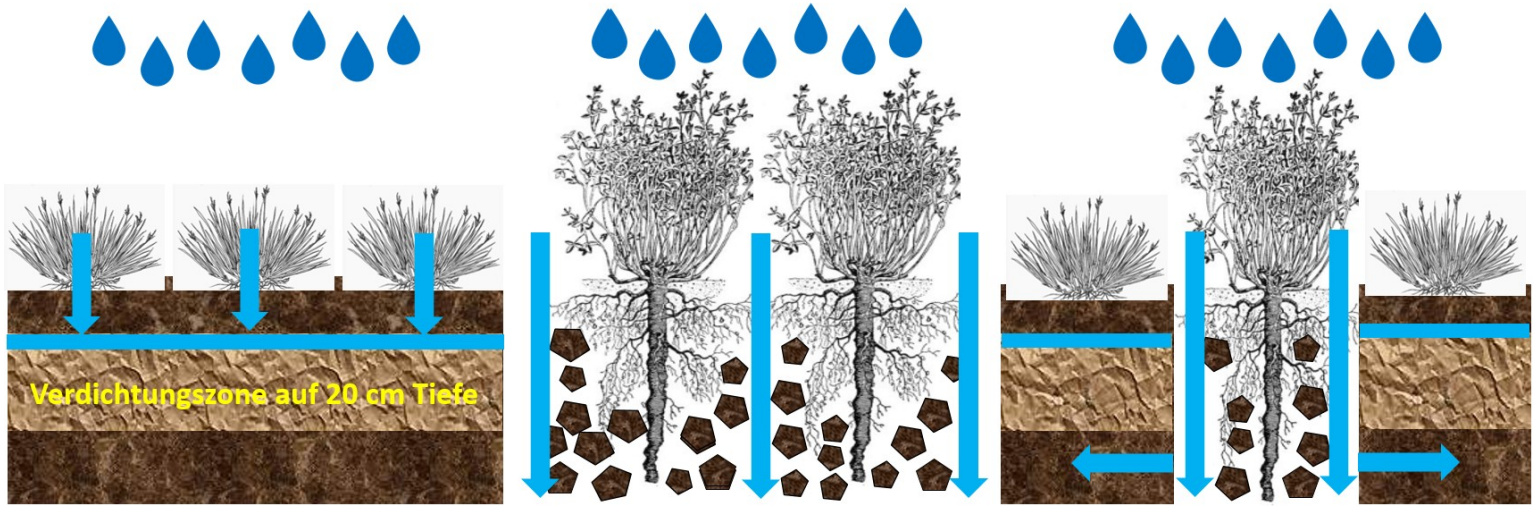
BILDUNG GROB- & MAKROPOREN
Erhöhung Niederschlagsinfiltration

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM RHEINPFALZ

Gasse mit langjähriger Grasdauerbegrünung (Flachwurzler)

Gasse mit artenreicher Kräuterbegrünung (Tiefwurzler)

Gasse mit Gras in den Fahrspuren & Luzerne in Gassenmitte



Bildquelle: C. Huth



Bildquelle: C. Huth

A = Adhäsion („Anhaften"):
Kräfte wirken zwischen den Wassermolekülen und der Gefäßwand. Deshalb wird das Wasser an der Gefäßwand nach oben gezogen.

K = Kohäsion („Zusammenhängen"):
Bindungskräfte zwischen Wasser-Dipolen. Sie bilden konkav gewölbte Wasseroberflächen (Menisken). Diese Oberflächenspannung ist bei Poren mit Durchmesser kleiner 10 µm größer als die Schwerkraft = Aufstieg des Wassers.

S = Schwerkraft (Gravitation)



ddw praxisnah

BODEN-WASSER

BODENWASSERVORRÄTE: Ein ausgewogenes Verhältnis von Infiltration und Wasserspeicherung sichert Wasserversorgung und Bodenfruchtbarkeit.

Optimale Infiltrationsbedingungen unter Teilzeitbegrünung

In Rheinland-Pfalz führt die unregelmäßige Niederschlagsverteilung dazu, dass ab September bis März bewirtschaftungsbedingt die Förderung der Niederschlagsinfiltration nötig ist, um den Bodenwasservorrat für 2026 aufzufüllen.

INFILTRATIONSFAKTOREN

- Niederschlagsmenge und -intensität: Starkregen kann die Infiltration überfordern und zu Oberflächenabfluss führen.
- Topographie: Flaches Ge-
- Bodenbearbeitung: eine grobe, nicht wendende Bodenbearbeitung mit gezogenen Geräten erhöht die Infiltration. Mulchbedeckungen reduzieren Verdunstung und verbessern die Wasserspeicherung.
- Bodenverdichtung: Durch mechanische Belastung verdichtete Böden zeigen verringerte Infiltrationskapazitäten.

INFILTRATIONS-ERHÖHUNG

Die Hauptsickerwasserbildung erfolgt überwiegend im Winund frostfesten Gemengepartnern mit intensiver horizontaler und vertikaler Durchwurzelung (Wurzelsystemen) erhöhen den Anteil an Grob- und Mittelporen im Boden. Diese Porenstruktur verbessert die Aufnahme von Regenwasser, reduziert Oberflächenabfluss und schützt vor Erosion. Langfristig erhöhen die organische Substanz und der Humusaufbau durch abgestorbene Wurzeln und Pflanzenreste die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens zusätzlich. Ein halbes Prozent unproduktive Wasserverdunstung über die sonst unbedeckte, dunkle Bodenoberfläche und sorgt für eine gleichmäßigere Wasserverteilung.

Für die Förderung der Winterinfiltration eignen sich besonders Zwischenfrüchte mit tiefem und intensivem Wurzelwerk, wie Winterrübsen, Winterraps, Winterwicken sowie Futterroggen. Sie überdauern die kalte Jahreszeit und sorgen für eine stabile Bodenstruktur und hohe Infiltrationsraten. Abfrierende Arten wie Ölrettich, Phacelia, Senf, Rauhafer und Leguminosen bilden eine schützende Mulchschicht, welche die Infiltration, Wasserspeicherung und Aggregatstabilität fördert. Aber auch Grasarten steigern durch ihr dichtes, fein verzweigtes flaches Wurzelsystem Strukturstabilität und Porenvolumen.

Die Infiltration von Niederschlagswasser stellt zudem den wichtigsten Prozess für die Grundwasserneubildung dar. Deshalb erhöhen etablierte Teilzeitbegrünungen im Weinbau von September bis März den Wasserrückhalt in der Anbaufläche stark und bilden die Grundlage für die Grundwasserneubildung, die in Rheinland-Pfalz im Zeitraum von 2003 bis 2022 bereits 25% unter dem Niveau des Referenzzeitraums von 1971 bis 2000 lag (Tabelle 1). ◀

Dr. Claudia Huth, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz

	KLIWA-Naturraum	Referenzzeitraum 1971-2000	Beobachtungszeitraum 2003-2022	Veränderungen	
		[mm/a]	[mm/a]	[mm/a]	[%]
16	Nördlicher Oberrheingraben	69	41	-28	-41
17	Mainzer Becken und Wetterau	32	19	-13	-40
18	Pfälzerwald (Buntsandstein)	161	115	-46	-28
19	Nordpfälzer Bergland (Rotliegend)	81	66	-16	-19
20	Rheinisches Schiefergebirge	83	63	-19	-23
21	Südwesteifel (Buntsandstein)	202	163	-40	-20
22	Nordwesteifel (devon. Kalksteine)	203	156	-48	-23
23	Pellenz (Vulkanite)	130	104	-26	-20
24	Lahn-Dill-Gebiet	150	98	-52	-35
25	Vulkanischer Westerwald	144	118	-26	-18
	Rheinland-Pfalz	101	76	-25	-25

Veränderung der mittleren Grundwasserneubildung im Zeitraum 2003 bis 2022 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000 innerhalb der KLIWA-Naturräume von Rheinland-Pfalz. Quelle: Zukunftsplan Wasser Rheinland-Pfalz 2024

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

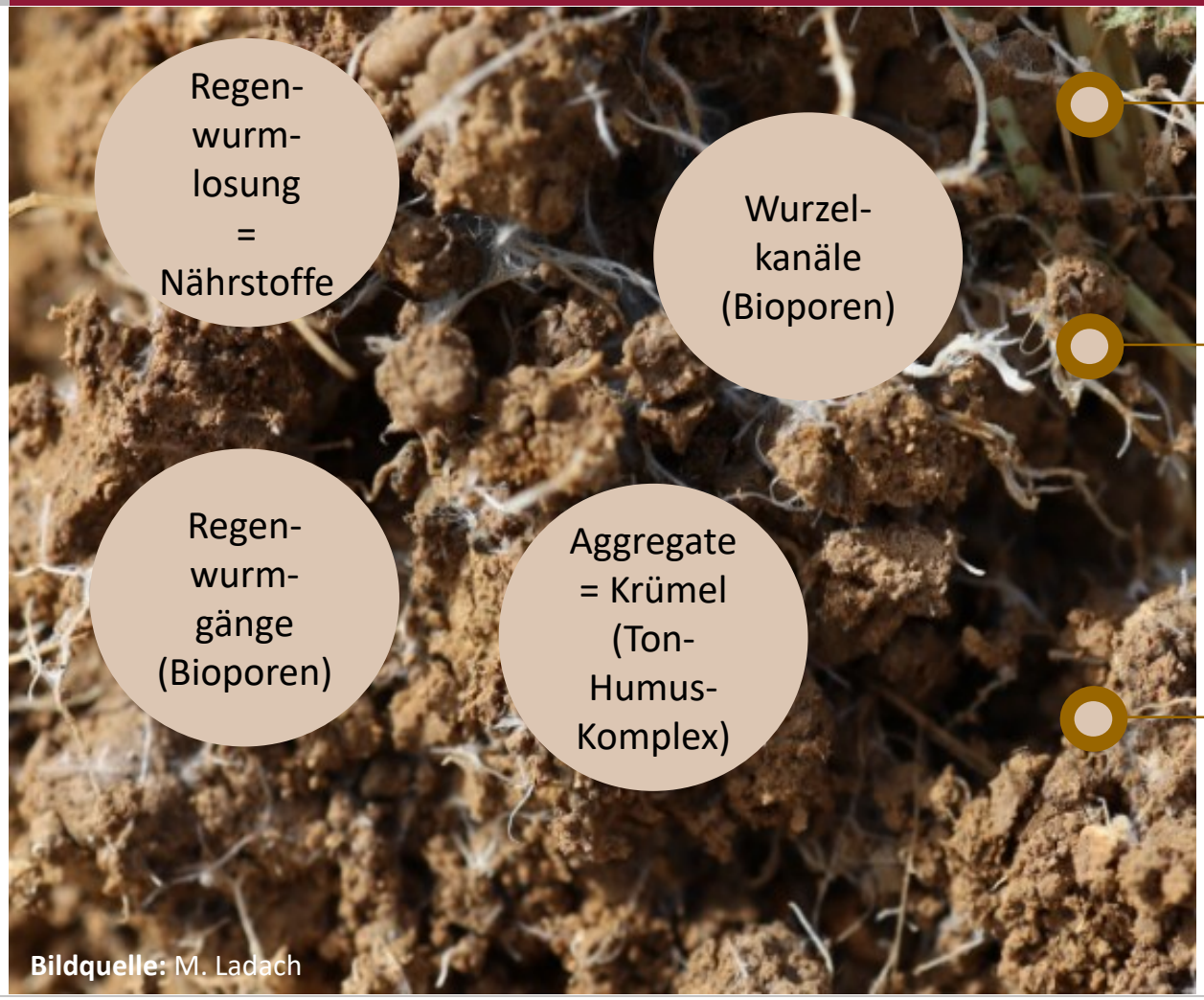
Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

Bildquelle: M. Ladach



ERHALT BODENKRÜMELSTRUKTUR
Reduzierung Erosion, Verdichtung

ERHALT BODENKRÜMELSTRUKTUR
Reduzierung Erosion, Verdichtung



Bildquelle: M. Ladach

Abnahme von NÄHRSTOFFVERLUSTEN

- Pflanzen nehmen überschüssige Nährstoffe (z.B. Nitrat) auf und binden diese in ihrer Biomasse.

Abnahme VERSCHLÄMMUNG & EROSION

- Stabilere Krümel zerfallen beim Aufprall von Regentropfen nicht so leicht, so dass der Boden infiltrationsfähig bleibt.
- Die raue, krümelige Oberfläche der Aggregate verlangsamt zudem den Oberflächenabfluss.

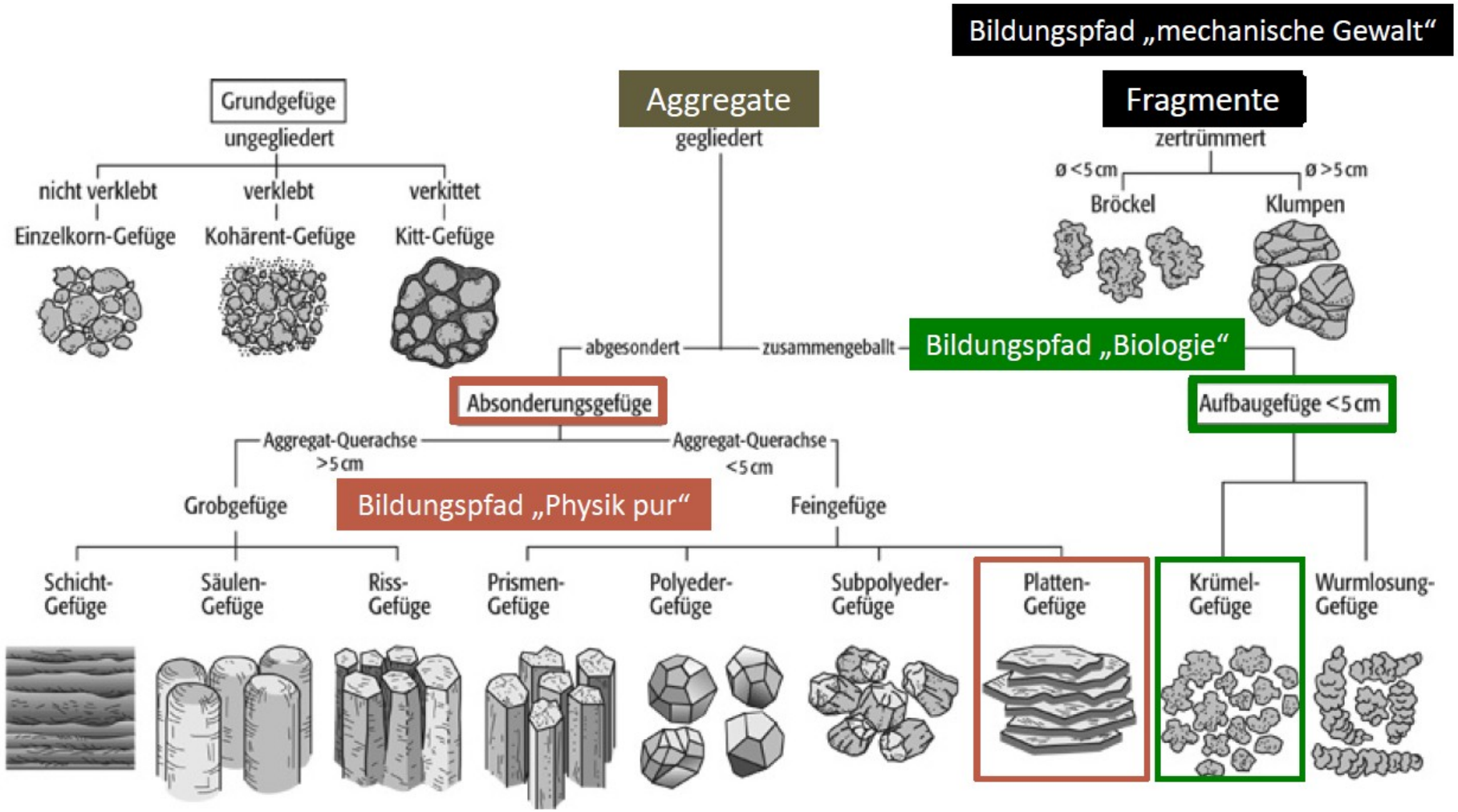
Schutz vor VERDICHTUNG

- Ein gut ausgebildetes Krümelgefüge besitzt stabile Poren für Wassertransport und Gasaustausch.
- Bioporen durch Regenwürmer und Wurzeln leiten Lasten in die Tiefe ab und erleichtern die Regeneration nach Befahrung.

ERHALT BODENKRÜMELSTRUKTUR
Reduzierung Erosion, Verdichtung

Quelle:
G. BODNER
(BOKU Wien)
Online-Seminar 28.02.2024
„Humusaufbau Teil 2“

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM RHEINPFALZ



BODENGEFÜGE
Räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile

KRÜMELGEFÜGE
(= Ton-Humus-Komplex)
mineralische und organische Bodenteilchen bilden durch lockere Aneinanderlagerung und Kopplung neue Aggregate

ERHALT BODENKRÜMELSTRUKTUR
Reduzierung Erosion, Verdichtung



Bildquelle: M. Ladach

- hohe Wasserverfügbarkeit
- hohe Wasserspeicherfähigkeit
- hohe Nährstoffverfügbarkeit
- geringe/keine Nährstoffverluste
- schnelle Erwärmung & gute Durchlüftung
- hohe biologische Aktivität & gute Durchwurzelung
- neutraler Boden-pH-Wert
- geringe/keine Erosion & Verschlämmung
- geringe/keine Verdichtung & Staunässe
- hohe Niederschlagsinfiltration

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

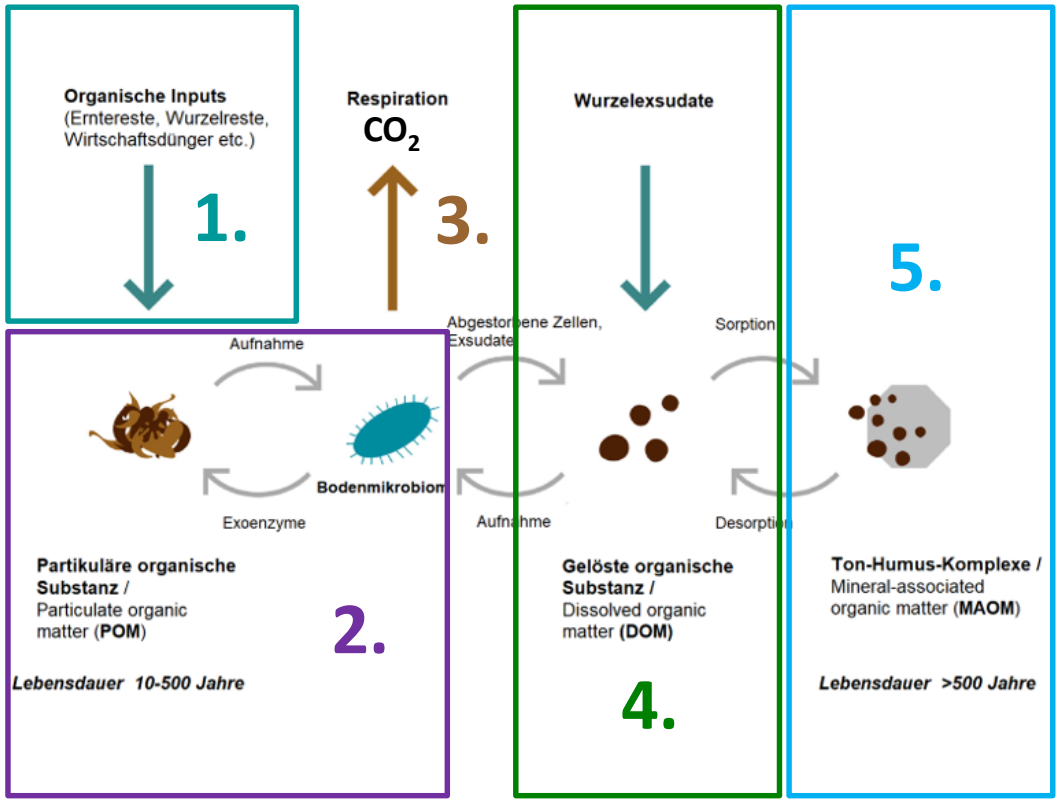
Bildquelle: M. Ladach



WURZELEXSUDATE
Humusaufbau (neue Humustheorie)

WURZELEXSUDATE
Humusaufbau (neue Humustheorie)

Quelle: A. DYNARSKI et al. 2020:

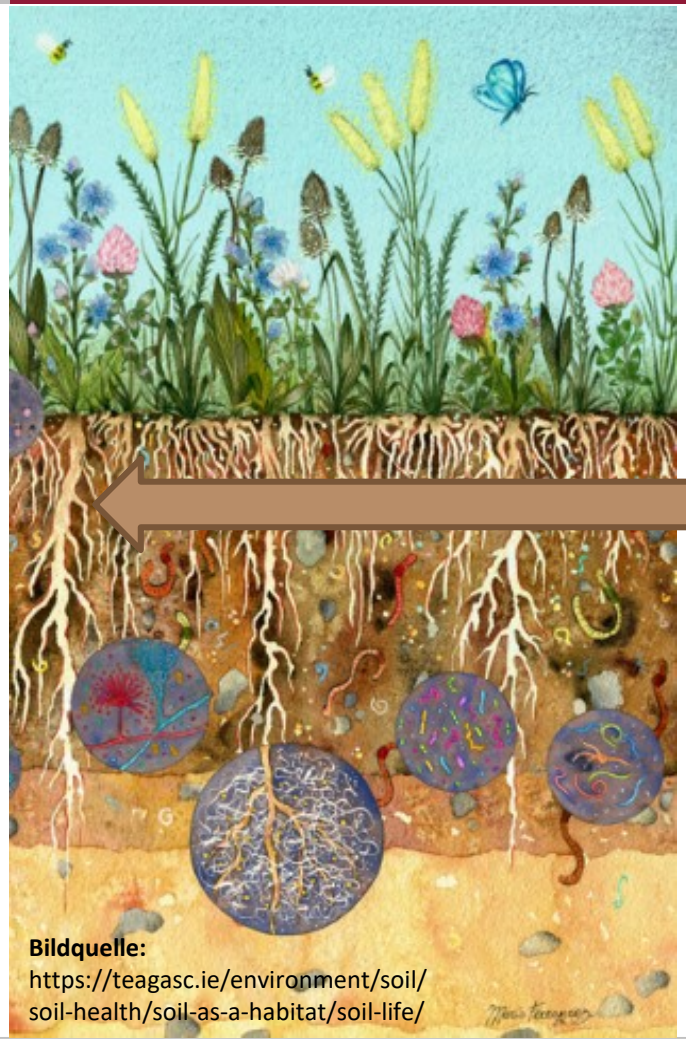


1. **ORGANISCHE INPUTS:** Kohlenstoff gelangt hauptsächlich über pflanzliche Einträge in den Boden
2. **POM (PARTIKULÄRE ORGANISCHE SUBSTANZ):** Der pflanzliche C-Eintrag ist die Vorstufe zu partikelförmiger organischer Substanz (POM), die von Mikroben depolymerisiert und in Biomasse aufgenommen oder tiefer in das Bodenprofil als Partikel transportiert werden.
3. **CO_2-FREISETZUNG:** Kohlenstoff geht als CO_2 durch heterotrophe Atmung der Bodenfauna verloren.
4. **DOM (GELÖSTE ORGANISCHE SUBSTANZ):** Durch mikrobielle Depolymerisation, Exsudation (Ausscheidung von Wurzelexsudaten) und Umsatz wird mikrobiell verarbeitetes C freigesetzt, das in der Bodenlösung frei ist.
5. **MAOM (TON-HUMUS-KOMPLEX):** Gelöste organische Substanz (DOM) kann nun an Mineraloberflächen (Tonminerale) sorbieren/ anlagern, um mineralgebundene organische Substanz (MAOM) zu bilden.

WURZELEXSUDATE
Humusaufbau (neue Humustheorie)

ZUSATZINFO

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM RHEINPFALZ



Bildquelle:
https://teagasc.ie/environment/soil/soil-health/soil-as-a-habitat/soil-life/

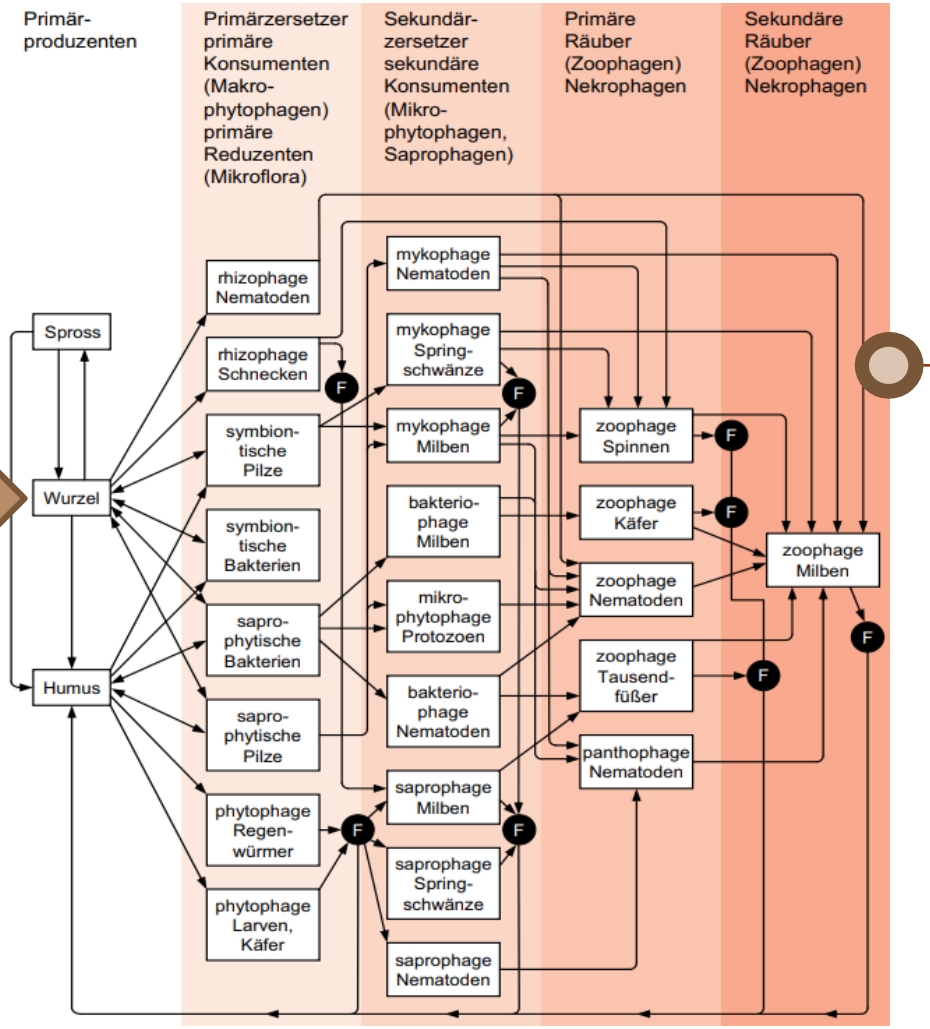


ABBILDUNG:

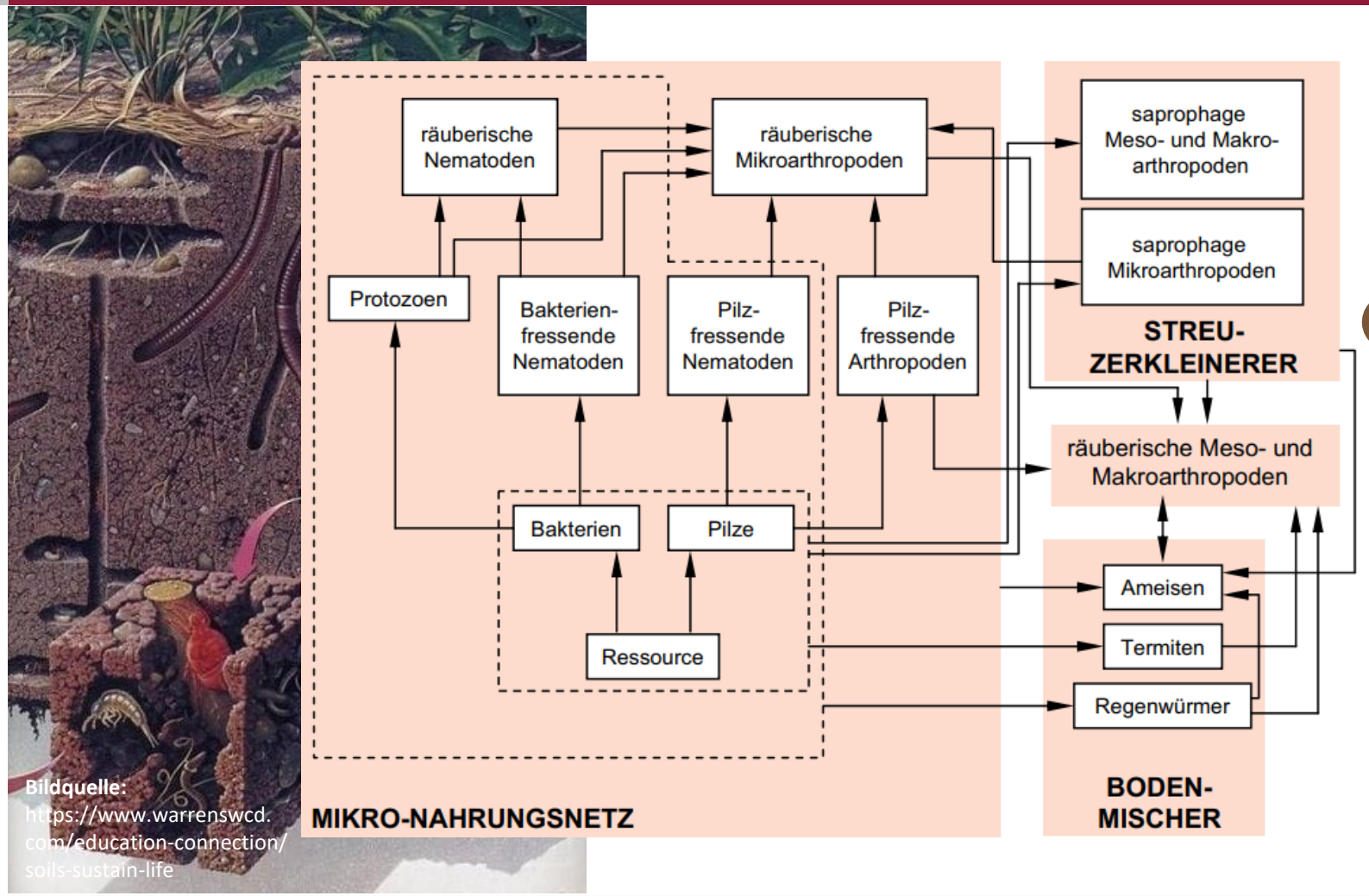
Nahrungsnetz beim Abbau des organischen Materials durch Bodenorganismen eines Wiesenstandorts,
F = Fäzes (Detritus, Kot)
nach GISI et al. 1997.

Quelle: Scheffer/Schachtschabel - Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage 2010.

WURZELEXSUDATE
Humusaufbau (neue Humustheorie)

ZUSATZINFO

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM RHEINPFALZ



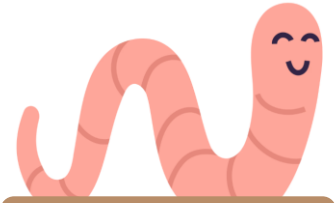
Bildquelle: https://www.warrenswcd.com/education-connection/soils-sustain-life

ABBILDUNG:

Organisation des Nahrungsnetzes in drei Kategorien: Mikro-Nahrungsnetz, Bodenmischer und Streuzerkleinerer nach PAUL 2007.

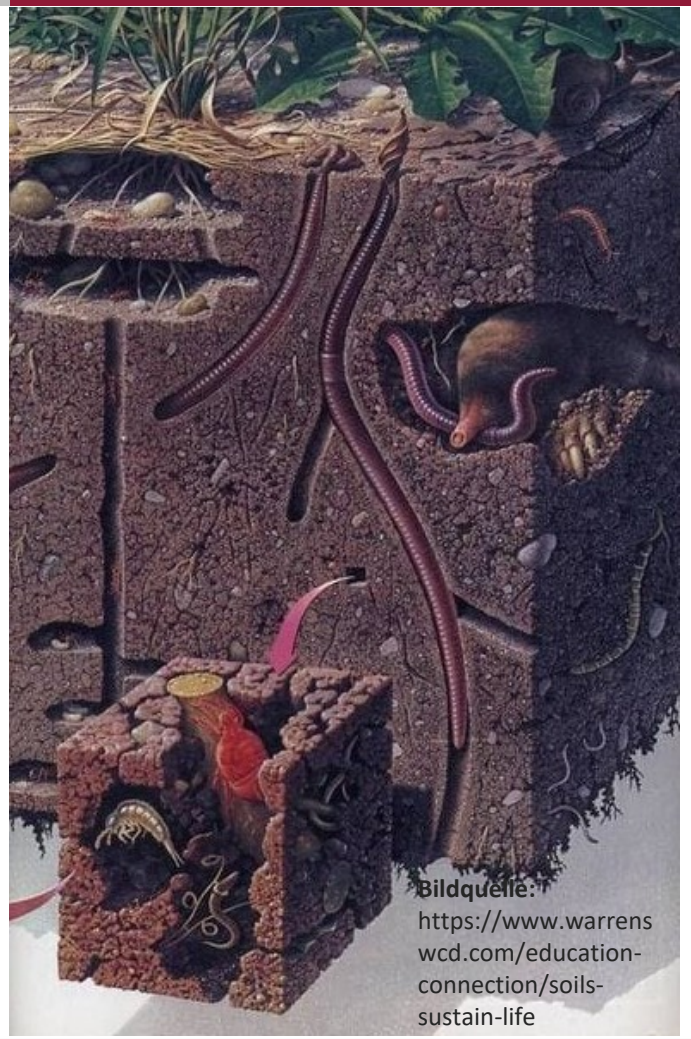
Quelle: Scheffer/Schachtschabel - Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage 2010.

WURZELEXSUDATE
Humusaufbau (neue Humustheorie)



ZUSATZINFO

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM
LÄNDLICHER RAUM
RHEINPFALZ



Bildquelle: https://www.warrenswcd.com/education-connection/soils-sustain-life

Gruppe	Anzahl der Individuen pro m²		Masse (g m⁻²)	
	m	h	m	h
Mikroflora				
Bakterien	10^{14}	10^{16}	100	700
Actinobakterien	10^{13}	10^{15}	100	500
Pilze	10^{11}	10^{14}	100	10^{3}
Algen	10^{8}	10^{11}	20	150
Mikrofauna (0,002…0,2 mm)				
Geißeltiere	10^{8}	10^{10}		
Wurzelfüßer	10^{7}	10^{10}	5	150
Wimpertiere	10^{6}	10^{8}		
Fadenwürmer	10^{6}	10^{8}	5	50
Mesofauna (0,2…2 mm)				
Rädertiere	10^{4}	10^{6}	0,01	0,3
Bärtierchen	10^{3}	10^{5}	0,01	0,5
Milben	7×10^{4}	4×10^{5}	0,6	4
Springschwänze	5×10^{4}	4×10^{5}	0,5	4
Makrofauna (2…20 mm)				
Enchyträen	3×10^{4}	3×10^{5}	5	50
Schnecken	50	10^{3}	1	30
Spinnen	50	200	0,2	1
Asseln	30	200	0,4	1,5
Doppelfüßer	100	500	4	10
übr. Vielfüßer	130	2×10^{3}	0,5	3
Käfer m. Larven	100	600	1,5	20
Zweiflüglerlarven	100	10^{3}	1	15
übr. Insekten	150	15×10^{3}	1	15
Megafauna (20…200 mm)				
Regenwürmer	100	500	30	200
Wirbeltiere	0,01	0,1	0,1	10

TABELLE:

Mittlere (m) und hohe (h) Anzahl sowie Lebendmasse der wichtigsten Bodenorganismen in Böden Mittel- und Nordeuropas nach DUNGER 1983.

Quelle: Scheffer/Schachtschabel - Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage 2010.

Ein Teelöffel Erde kann zwischen 100 Millionen & 1 Milliarde Bakterien & andere Organismen enthalten.



BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

Bildquelle: M. Ladach

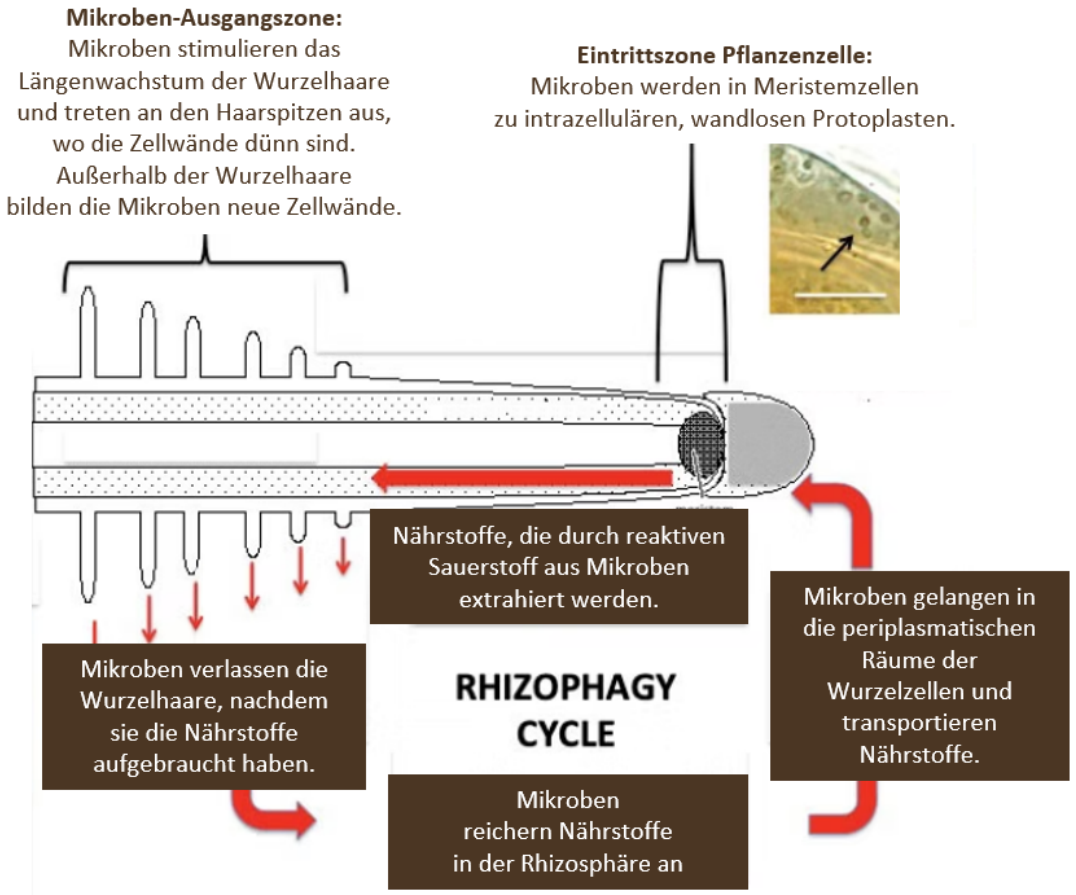


RHIZOPHAGIE-ZYKLUS
Wuchsförderung durch Mikroben

RHIZOPHAGIE-ZYKLUS
Wuchsförderung durch Mikroben

Rhizophagie-Zyklus (Rhizophagy Cycle):

- Mikroben wechseln zwischen einer freilebenden Bodenphase und einer intrazellulären endophytischen Phase.
- Mikroben dringen in die Wurzelzellen am wachsenden Wurzelspitzenmeristem ein und verlassen die Wurzelzellen an den Spitzen der sich ausdehnenden Wurzelhaare wieder.
- Die Bodennährstoffe werden in der freilebenden Bodenphase erworben und in der intrazellulären endophytischen Phase oxidativ extrahiert.



Quelle: J. White 2021 (https://www.regenerativ.ch/post/rhizophagie-wie-pflanzen-mit-ihren-wurzeln-mikroben-fressen)

RHIZOPHAGIE-ZYKLUS
Wuchsförderung durch Mikroben

Vorteile des Rhizophagie-Zyklus für Pflanze:

- ✓ Mikroben fördern Wurzelentwicklung ihrer Wirtspflanze.
- ✓ Mikroben erhöhen die Nährstoffverfügbarkeit (z.B. N, Mikronährstoffe) ihrer Wirtspflanzen.
- ✓ Mikroben verbessern die oxidative Stresstoleranz (z.B. Hitze- und Wasserstress) ihrer Wirtspflanze durch Ethylen-Ausscheidung.
- ✓ Mikroben schützen ihre Wirtspflanzen vor Pflanzenfressern, indem sie Stoffe wie z.B. Alkaloide entwickeln lassen (Modifizierung des Wirtsstoffwechsels), die Insekten fernhalten.
- ✓ Mikroben unterdrücken krankmachende Pilze, indem sie diese kolonisieren, schwächen und je nach Fall sogar zu Endophyten umfunktionieren.



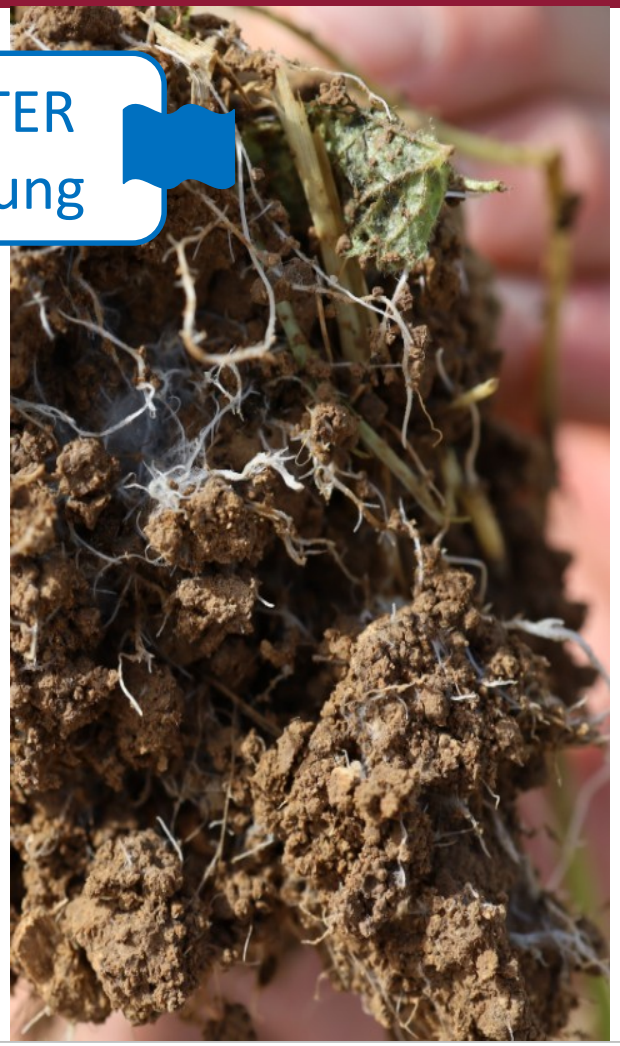
Eine Bakterienwolke um das Wurzelspitzenmeristem, wo die intrazelluläre Besiedlung stattfindet.
Bildquelle: J. White 2021

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

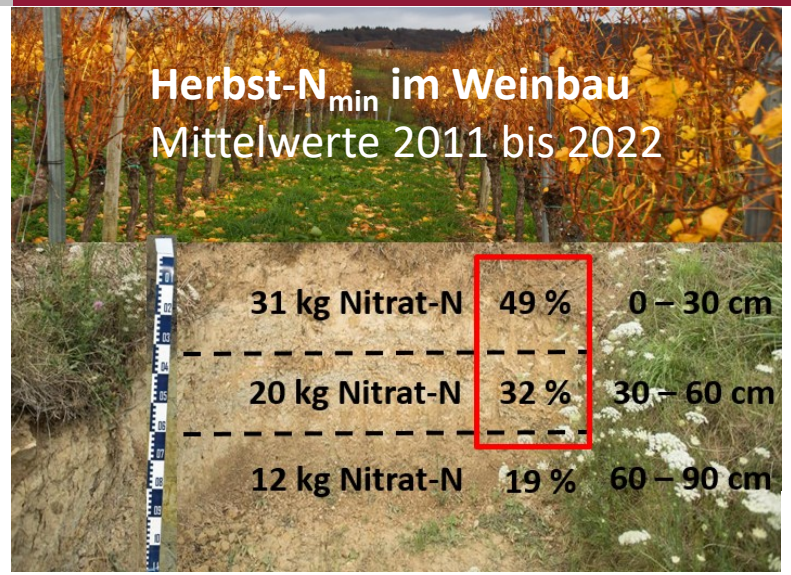
Bildquelle: M. Ladach

NÄHRSTOFFAUFNAHME WINTER
Reduzierung Nitrat-Auswaschung

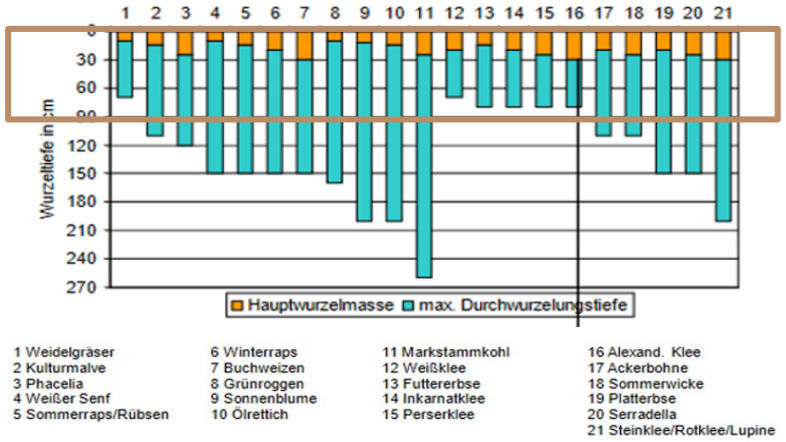


NÄHRSTOFFAUFNAHME WINTER
Reduzierung Nitrat-Auswaschung

RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM
LÄNDLICHER RAUM
RHEINPFALZ

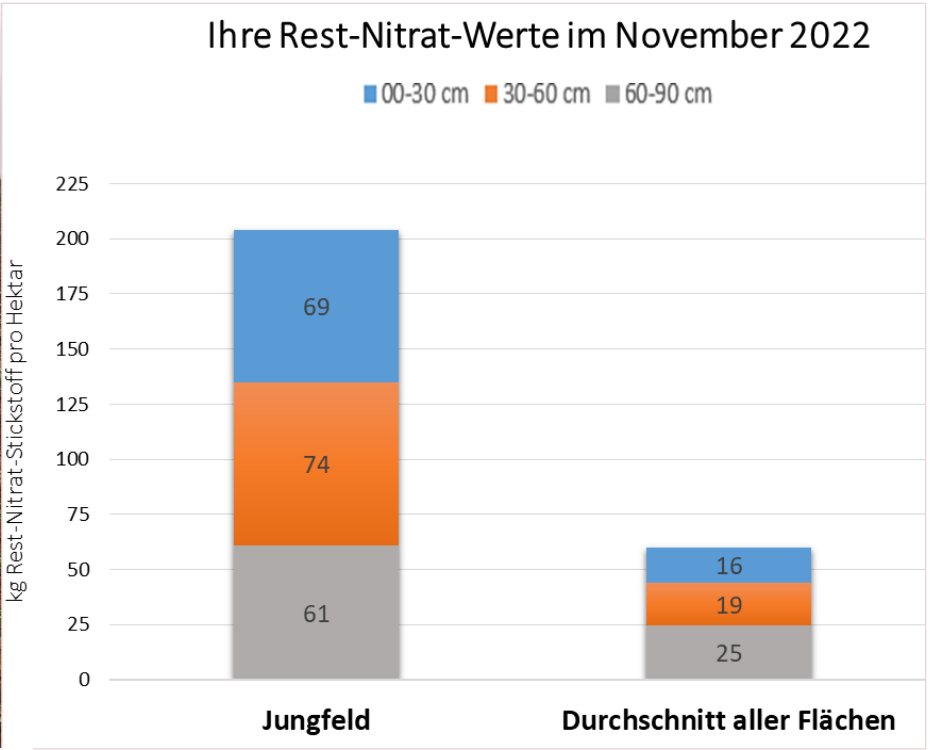


Quelle:
R. Husslein



Quelle:
W. Buchner
(LWB 35/2008)





Quellen: R. Husslein

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

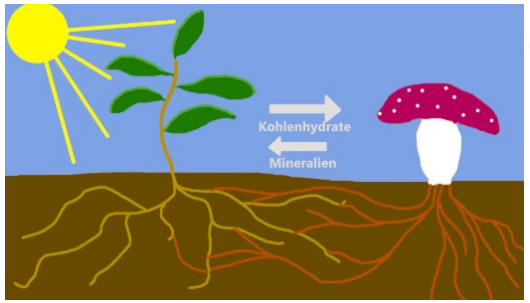
Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

Bildquelle: M. Ladach

SYMBIOSE MYKORRHIZA
Erhöhung Nährstoffverfügbarkeit



SYMBIOSE MYKORRHIZA
Erhöhung Nährstoffverfügbarkeit



RheinlandPfalz
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM RHEINPFALZ

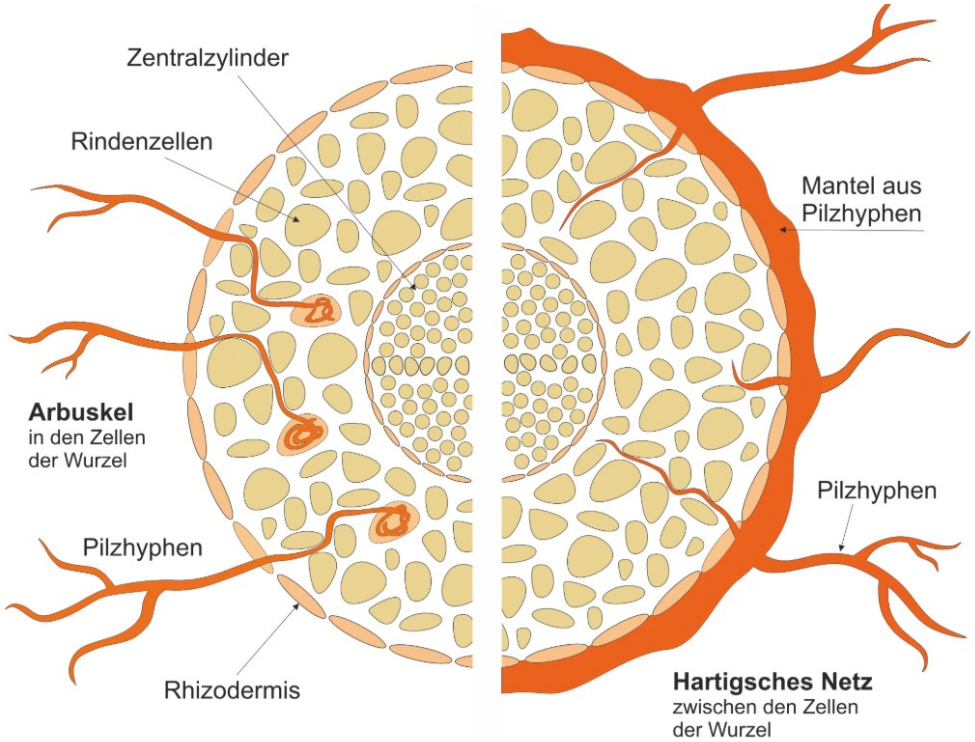
Bildquelle:
https://www.samen-online.de

ENDOMYKORRHIZA

durchdringt die Pflanzenwurzeln und bildet Arbuskeln für effizienten Nährstoffaustausch
(Reben, Gemüse, Gräser, Kräuter, Hainbuche, Hartriegel, Hasel)

Vorteile:

- ✓ fördert intensives Wurzelwachstum,
- ✓ optimiert Nährstoffaufnahme
- ✓ steigert Stressresistenz
- ✓ passt sich an verschiedene Boden-pH-Werte an



Bildquelle: https://grownrw-bayern.de/mykorrhiza-und-trichoderma-ein-zeitloses-netzwerk-des-lebens

EKTOMYKORRHIZA

bildet ein Myzelmantel an den Wurzelspitzen und wirkt wie ein Schutzmantel
(Nadel- & Laubbaumarten)

Vorteile:

- ✓ verbessert Stickstoff- und Phosphor-Aufnahme
- ✓ schützt vor Bodenpathogenen,
- ✓ fördert robustes Wachstum
- ✓ passt sich an verschiedene Boden-pH-Werte an

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

Bildquelle: M. Ladach



SYMBIOSE RHIZOBIEN
Erhöhung N-Verfügbarkeit (NH_4^+)

SYMBIOSE RHIZOBIEN
Erhöhung N-Verfügbarkeit (NH_4^+)

1. Stickstoff-Fixierung

- an Leguminosen-Wurzeln befinden sich Wurzelknöllchen mit Knöllchenbakterien
- Knöllchenbakterien (= Rhizobien) können Luftstickstoff aufnehmen (= fixieren) und an die Pflanze als Ammonium (NH_4^+) abgeben = natürliche N-Quelle
- **Symbiose:** Knöllchenbakterien erhalten Zucker (Assimilate) von Pflanze
  Leguminose erhält pflanzenverfügbare N-Verbindungen (NH_4^+) von Bakterium

Wurzel-knöllchen an Wicken-Wurzeln



Knöllchenbakterien dringen in Wurzelhaare ein und animieren Wurzelrindenzellen zum Wachstum = Knöllchen

Foto: F. Vincentz 2007

Mikroskop: Wurzel-knöllchen mit Knöllchen-bakterien

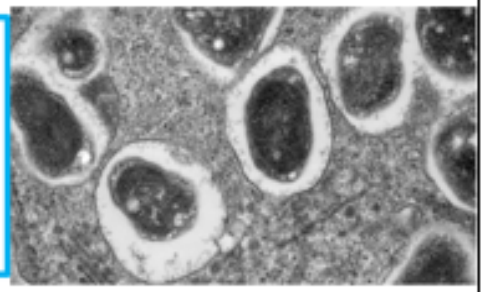


Foto: L. Howard 2011

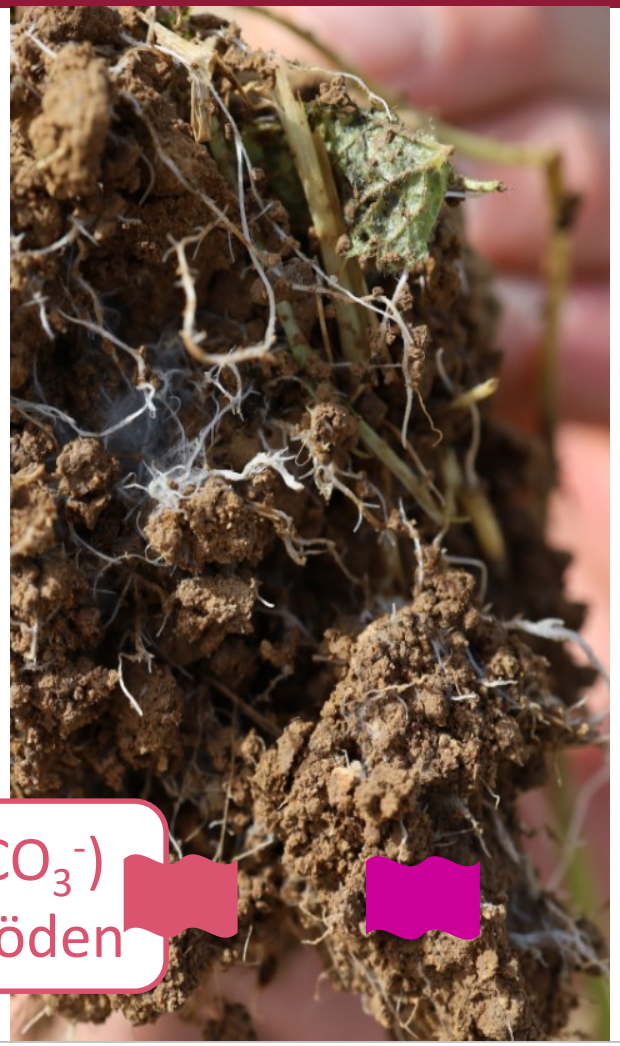


Bildquelle: C. Daut 2016

BEGRÜNUNG MIT TIEFENWIRKUNG

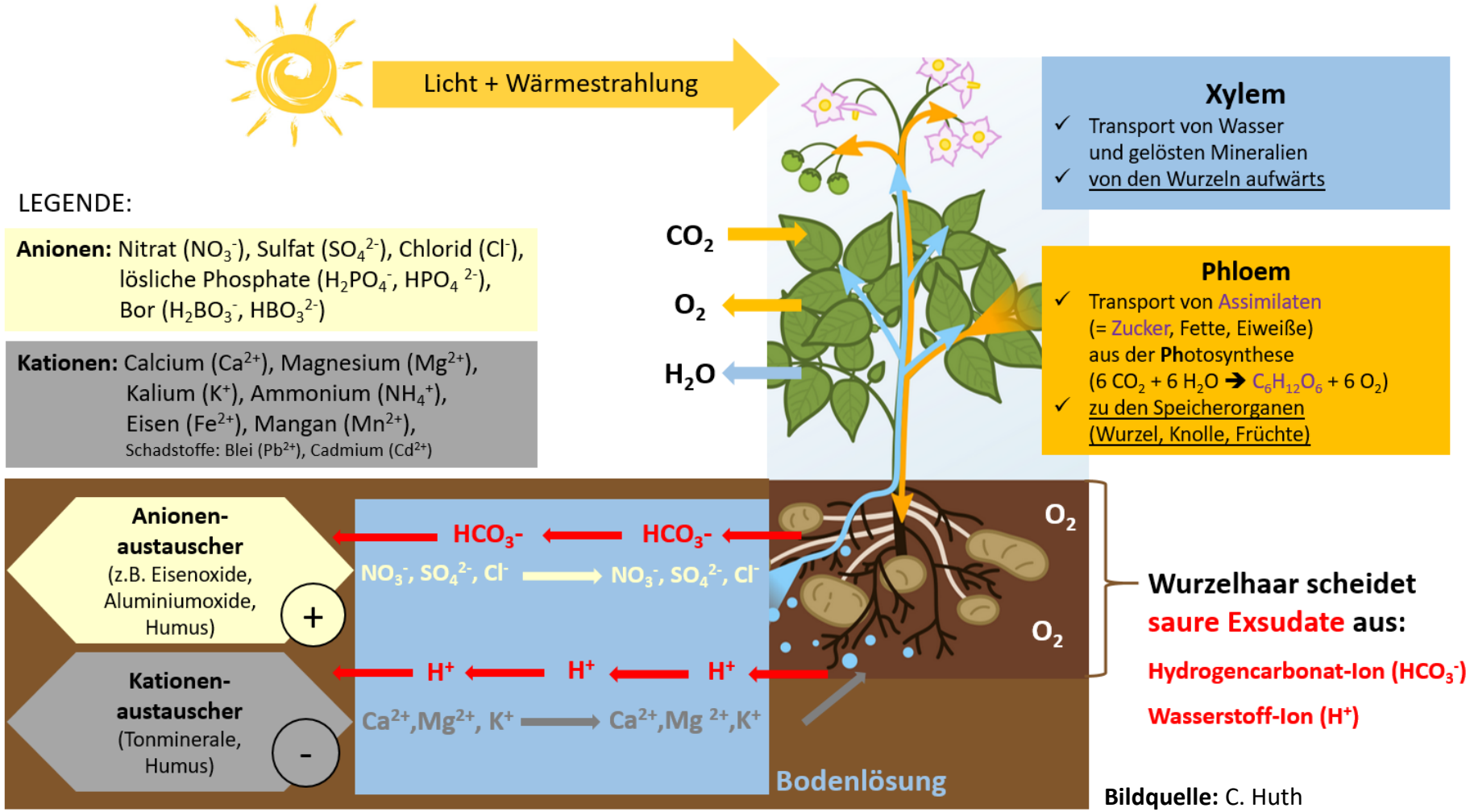
Durchwurzelung als Motor für Bodenfruchtbarkeit und Humuserhalt

Bildquelle: M. Ladach



BODEN-VERSAUERUNG (H^+, HCO_3^-)
pH-Wert-Regulation basische Böden

BODEN-VERSAUERUNG (H^+, HCO_3^-)
pH-Wert-Regulation basische Böden



Bildquelle: C. Huth

VIELEN DANK FÜR IHR INTERESSE!

